

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-331128  
 (43)Date of publication of application 21.11.2003

(51)Int.Cl. 606F 17/60  
 606F 17/18

(21)Application number : 2002-140571  
 (22)Date of filing : 15.05.2002

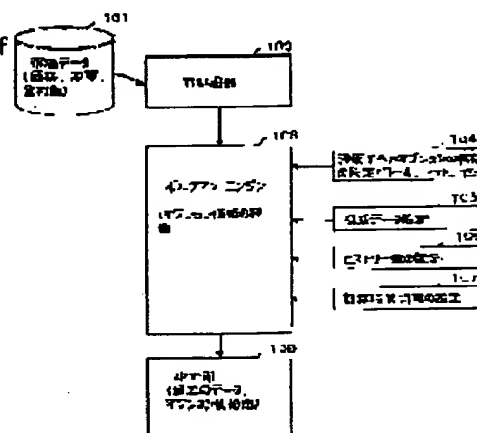
(71)Applicant : TOSHIBA CORP  
 (72)Inventor : MURAKAMI YOSHIKI  
 TAKEZAWA NOBUHISA  
 UENOHARA YUJI  
 TATSUMI TAKAHIRO  
 KOBAYASHI TAKENORI  
 HIRAI YASUO

(54) EVALUATION SYSTEM FOR DERIVATIVE SECURITY AND PRICE EVALUATING METHOD FOR DERIVATIVE SECURITY

(57)Abstract

**PROBLEM TO BE SOLVED.** To provide a price evaluating method for a derivative security regarding underlying assets whose volatility showing the extent of future variation in price exceeds 100% and a derivative security whose term of validity up to the expiration exceeds 10 years as to a financial article and a spot article such as electric power.

**SOLUTION:** The evaluation system for derivative securities is equipped with a means for inputting a price, a turnover or demand quantity, and a price variation quantity, a means for deciding the correlation between demands and prices, a means for evaluating calculation time intervals of a Monte Carlo method from the extent of variation and the period up to the expiration, a means for calculating time variation in price by solving a Boltzmann equation by the Monte Carlo method, and a means for evaluating a derivative security price from a probability distribution obtained as a result.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 15.05.2002  
 [Date of sending the examiner's decision of rejection]  
 [Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
 [Date of final disposal for application]  
 [Patent number]  
 [Date of registration]

Received at: 2:56AM, 6/25/2004

2004-06-25 15:52 宛先-OBLON

殿 送信元-MIYOSI&MIYOSI

T-698 P.004/022 U-631

Searching PAJ

2/2 ページ

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2003-331128

(P2003-331128A)

(43) 公開日 平成15年11月21日 (2003. 11. 21)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	識別記号	FI	キーワード (参考)
G06F 17/60	234	G06F 17/60	234 G 5R056
	204		204
	516		516
17/18		17/18	2

審査請求 有 請求項の数 16 OL (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2002-140571 (P2002-140571)

(22) 出願日 平成14年5月15日 (2002. 5. 15)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72) 発明者 村上 好樹

神奈川県川崎市川崎区浮島町2番1号 株式会社東芝浜川崎工場内

(72) 発明者 竹澤 伸久

神奈川県川崎市川崎区浮島町2番1号 株式会社東芝浜川崎工場内

(74) 代理人 1000R3806

弁理士 三好 秀和 (外7名)

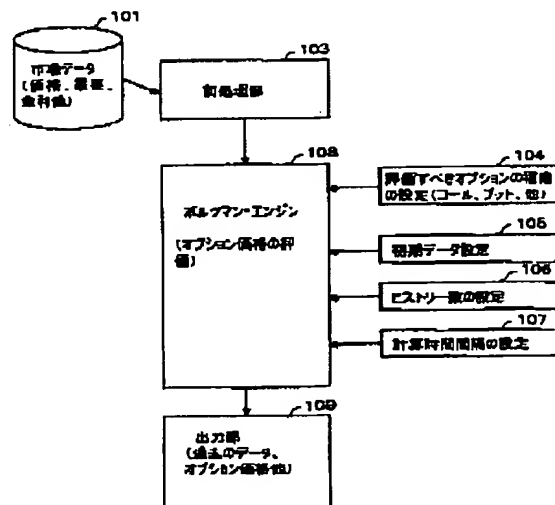
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 派生証券の評価システムおよび派生証券の価格評価方法

## (57) 【要約】

【課題】 金融商品や電力等の現物商品において、将来の価格の変動の大きさを示すボラティリティが100%を超えるような原資産に関する派生証券や、満期までの期間が10年を超えるような派生証券の価格評価手法を提供する。

【解決手段】 本発明の派生証券の評価システムは、価格、出来高あるいは需要量、及び価格変動量を入力する手段と、需要及び価格の相関を判定する手段と、変動の大きさや満期までの期間からモンテカルロ法の計算時間間隔を評価する手段と、モンテカルロ法によりボルツマン方程式を解いて価格の時間変化を計算する手段と、その結果得られた確率分布から派生証券価格を評価する手段を備えたシステムである。



(2)

特開2003-331128

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 過去の所定期間の商品の価格及び需要量若しくは供給量、又は過去の所定期間の株式の価格及び出来高の入力データを受け入れる手段と、

派生証券の満期までの期間、原資産の現在価格及び行使価格、非危険利子率の入力データを受け入れる手段と、任意のモンテカルロ法の計算時間間隔及び総ヒストリー数のデータを受け入れる手段と、

前記計算時間間隔と総ヒストリー数とを用い、モンテカルロ法により金融ボルツマン方程式を解き、前記商品の価格の確率分布を得る手段と、

得られた確率分布から派生証券の価格を計算する手段と、

前記派生証券の価格の計算結果を出力する手段とを備えたことを特徴とする派生証券の評価システム。

【請求項2】 過去の所定期間の商品の価格及び需要量若しくは供給量、又は過去の所定期間の株式の価格及び出来高の入力データを受け入れる手段と、

受け入れたデータから商品の需要量若しくは供給量と価格との変動の相関、又は株式の出来高と価格との変動の相関を計算して出力する手段と、

派生証券の満期までの期間、原資産の現在価格及び行使価格、非危険利子率の入力データを受け入れる手段と、任意のモンテカルロ法の計算時間間隔及び総ヒストリー数のデータを受け入れる手段と、

前記計算時間間隔と総ヒストリー数とを用い、モンテカルロ法により金融ボルツマン方程式を解き、前記商品の価格の確率分布を得る手段と、

得られた確率分布から派生証券の価格を計算する手段と、

前記派生証券の価格の計算結果を出力する手段とを備えたことを特徴とする派生証券の評価システム。

【請求項3】 過去の所定期間の商品の価格及び需要量若しくは供給量、又は過去の所定期間の株式の価格及び出来高の入力データを受け入れる手段と、

受け入れたデータから商品の需要量若しくは供給量と価格との規則的な変動、又は株式の出来高と価格との規則的な変動の有無を判定し、規則的な変動部分を除去する手段と、

派生証券の満期までの期間、原資産の現在価格及び行使価格、非危険利子率の入力データを受け入れる手段と、任意のモンテカルロ法の計算時間間隔及び総ヒストリー数の入力データを受け入れる手段と、

前記計算時間間隔と総ヒストリー数とを用い、モンテカルロ法により金融ボルツマン方程式を解き、前記商品の価格の確率分布を得る手段と、

得られた確率分布から派生証券の価格を計算する手段と、

得られた派生証券の価格に対して、除去した規則的な変動部分を再補正する手段と、

補正後の派生証券の価格を出力する手段とを備えたことを特徴とする派生証券の評価システム。

【請求項4】 評価対象である商品の過去の所定期間の価格及び需要量若しくは供給量、又は評価対象である株式の過去の所定期間の価格及び出来高の入力データを受け入れるステップと、

派生証券の満期までの期間、原資産の現在価格及び行使価格、非危険利子率の入力データを受け入れるステップと、

任意のモンテカルロ法の計算時間間隔及び総ヒストリー数のデータを受け入れるステップと、

前記計算時間間隔と総ヒストリー数とを用い、モンテカルロ法により金融ボルツマン方程式を解き、前記商品の価格の確率分布を得るステップと、

得られた確率分布から派生証券の価格を計算するステップと、

前記派生証券の価格の計算結果を出力するステップとを有することを特徴とする派生証券の価格評価方法。

【請求項5】 評価対象である商品の過去の所定期間の価格及び需要量若しくは供給量、又は評価対象である株式の過去の所定期間の価格及び出来高の入力データを受け入れるステップと、

受け入れたデータから商品の需要量若しくは供給量と価格との変動の相関、又は株式の出来高と価格との変動の相関を求めるステップと、

派生証券の満期までの期間、原資産の現在価格及び行使価格、非危険利子率の入力データを受け入れるステップと、

任意のモンテカルロ法の計算時間間隔及び総ヒストリー数のデータを受け入れるステップと、

前記計算時間間隔と総ヒストリー数とを用い、モンテカルロ法により金融ボルツマン方程式を解き、前記商品の価格の確率分布を得るステップと、

得られた確率分布から派生証券の価格を計算するステップと、

前記派生証券の価格の計算結果を出力するステップとを有することを特徴とする派生証券の価格評価方法。

【請求項6】 評価対象である商品の過去の所定期間の価格及び需要量若しくは供給量、又は評価対象である株式の過去の所定期間の価格及び出来高の入力データを受け入れるステップと、

受け入れたデータから商品の需要量若しくは供給量と価格との規則的な変動、又は株式の出来高と価格との規則的な変動の有無を判定し、規則的な変動部分を除去するステップと、

派生証券の満期までの期間、原資産の現在価格及び行使価格、非危険利子率の入力データを受け入れるステップと、

任意のモンテカルロ法の計算時間間隔及び総ヒストリー数の入力データを受け入れるステップと、

3

前記計算時間間隔と総ヒストリー数とを用い、モンテカルロ法により金融ボルツマン方程式を解き、前記商品の価格の確率分布を得るステップと、  
得られた確率分布から派生証券の価格を計算するステップと、

得られた派生証券の価格に対して、除去した規則的な変動部分を再補正するステップと、

補正後の派生証券の価格を出力するステップとを有することを特徴とする派生証券の価格評価方法。

【請求項7】 評価対象である商品を電力とし、その派生証券の価格を計算することを特徴とする請求項4～6のいずれかに記載の派生証券の価格評価方法。

【請求項8】 価格のヒストリカル・ボラティリティが100%を超える商品又は株式を原資産とし、その派生証券の価格を計算することを特徴とする請求項4～6のいずれかに記載の派生証券の価格評価方法。

【請求項9】 前記モンテカルロ法の計算時間間隔を1日以下とすることを特徴とする請求項4～6のいずれかに記載の派生証券の価格評価方法。

【請求項10】 電力価格の1日平均値、1週間の平均値若しくは1月間の平均値を原資産として派生証券の価格を計算することを特徴とする請求項4～6のいずれかに記載の派生証券の価格評価方法。

【請求項11】 電力価格のある日の特定の時刻の値、その日の最大値若しくはその日の特定の時刻の価格の平均値をその日の電力価格とし、これを原資産として派生証券の価格を計算することを特徴とする請求項4～6のいずれかに記載の派生証券の価格評価方法。

【請求項12】 特定の曜日の特定の時刻の価格若しくは特定の曜日の価格の平均値を原資産として派生証券の価格を計算することを特徴とする請求項4～6のいずれかに記載の派生証券の価格評価方法。

【請求項13】 過去の所定期間の商品の価格及び需要量若しくは供給量、又は過去の所定期間の株式の価格及び出来高の入力データを受け入れる手段と、

受け入れたデータから商品の需要量若しくは供給量と価格との変動の相関、又は株式の出来高と価格との変動の相関を計算して出力する手段と、

派生証券の満期までの期間、原資産の現在価格及び行使価格、非危険利子率の入力データを受け入れる手段と、  
計算時間間隔及び総ヒストリー数の入力データを受け入れる手段と、

前記計算時間間隔と総ヒストリー数とを用いて幾何ブラウン運動モデルの方程式を解き、前記商品の価格の確率分布を得る手段と、

得られた確率分布から派生証券の価格を計算する手段と、

前記派生証券の価格の計算結果を出力する手段とを備えたことを特徴とする派生証券の評価システム。

【請求項14】 過去の所定期間の商品の価格及び需要

(3)

特開2003-331128

4

量若しくは供給量、又は過去の所定期間の株式の価格及び出来高の入力データを受け入れる手段と、

受け入れたデータから商品の需要量若しくは供給量と価格との規則的な変動、又は株式の出来高と価格との規則的な変動の有無を判定し、規則的な変動部分を除去する手段と、

派生証券の満期までの期間、原資産の現在価格及び行使価格、非危険利子率の入力データを受け入れる手段と、  
計算時間間隔及び総ヒストリー数の入力データを受け入れる手段と、

前記計算時間間隔と総ヒストリー数とを用いて幾何ブラウン運動モデルの方程式を解き、前記商品の価格の確率分布を得る手段と、

得られた確率分布から派生証券の価格を計算する手段と、

得られた派生証券の価格に対して、除去した規則的な変動部分を再補正する手段と、

補正後の派生証券の価格を出力する手段とを備えたことを特徴とする派生証券の評価システム。

20

【請求項15】 過去の所定期間の商品の価格及び需要量若しくは供給量、又は過去の所定期間の株式の価格及び出来高の入力データを受け入れるステップと、

受け入れたデータから商品の需要量若しくは供給量と価格との変動の相関、又は株式の出来高と価格との変動の相関を計算して出力するステップと、

派生証券の満期までの期間、原資産の現在価格及び行使価格、非危険利子率の入力データを受け入れるステップと、  
計算時間間隔及び総ヒストリー数の入力データを受け入れるステップと、

30

前記計算時間間隔と総ヒストリー数とを用いて幾何ブラウン運動モデルの方程式を解き、前記商品の価格の確率分布を得るステップと、

得られた確率分布から派生証券の価格を計算するステップと、

前記派生証券の価格の計算結果を出力するステップとを有することを特徴とする派生証券の価格評価方法。

【請求項16】 過去の所定期間の商品の価格及び需要量若しくは供給量、又は過去の所定期間の株式の価格及び出来高の入力データを受け入れるステップと、

受け入れたデータから商品の需要量若しくは供給量と価格との規則的な変動、又は株式の出来高と価格との規則的な変動の有無を判定し、規則的な変動部分を除去するステップと、

派生証券の満期までの期間、原資産の現在価格及び行使価格、非危険利子率の入力データを受け入れるステップと、  
計算時間間隔及び総ヒストリー数の入力データを受け入れるステップと、

40

前記計算時間間隔と総ヒストリー数とを用いて幾何ブラウン運動モデルの方程式を解き、前記商品の価格の確率分布を得るステップと、

得られた確率分布から派生証券の価格を計算する手段と、

50

前記計算時間間隔と総ヒストリー数とを用いて幾何ブラウン運動モデルの方程式を解き、前記商品の価格の確率分布を得る手段と、

5

ウン運動モデルの方程式を解き、前記商品の価格の確率分布を得るステップと、

得られた確率分布から派生証券の価格を計算するステップと、

得られた派生証券の価格に対して、除去した規則的な変動部分を再補正するステップと、

補正後の派生証券の価格を出力するステップとを有することを特徴とする派生証券の価格評価方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、派生証券価格の評価システムに関する。

【0002】

【従来の技術】金融商品の派生証券価格の計算では一般に金融工学の技術が利用されるが、この技術は株式等だけではなく、石油等の燃料や農産物等の現物商品にも応用されている。また、電力取引が自由化されると、電力価格の市場リスクのヘッジ（回避）にも金融工学の技術が応用されると考えられる。電力取引が自由化されると、市場が開設され電力価格が市場によって決まり日々刻々と変化するようになる。このような状況では発電事業者も需要家も価格変動リスクをヘッジする必要がある。

【0003】これには株式市場で取引されている先物やオプションといった派生証券の活用が有効であると考えられている。ここで、先物とは将来のある時点で定められた価格で原資産（株や電力）を買う、又は売るという契約であり、オプションとは、定められた時点で原資産をある価格（行使価格）で買う（コール）、又は売る（プット）権利である。すなわち原資産そのものの取引だけでなく、そこから派生した商品（デリバティブ商品）の取引を通じて将来の価格変動のリスクをヘッジするわけである。ただし、電力という商品は貯蔵が困難であることや流動性が小さいことなどから株式等とは異なる特性を示す。ここでは米国カリフォルニアの電力取引での市場価格の例を引いて従来技術を説明する。

【0004】図1は1999年のCalifornia電力取引所（C a l P X）の前日市場における電力価格の推移である。縦軸は対数で示されている。横軸は1月1日からの日数である。C a l P Xの電力価格は1時間単位で公開されているが、図を見やすくするために日単位で表示してある。図から電力価格の変動がきわめて大きいことがわかる。金融工学では、この変動の大きさを表すのに、以下の式で定義されるボラティリティが用いられる。

【0005】

【数1】

(4)

特開2003-331128

6

$$\sigma = s / \sqrt{\tau}$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2}$$

$$u_i = \ln(S_i / S_{i-1})$$

ここで、 $S_i$ は時刻*i*での電力価格であり、 $u_i$ は時刻*i* - 1から*i*まで（時間間隔  $\tau$ ）の連続複利（あるいは収益率）である。 $\tau$ の単位を年とすると  $\sigma$  は年率のボラティリティになり、価格変動の大きさに対する指標になる。この場合のボラティリティは約2300%であり、通常の株式の場合（数10%以下）に比べて2桁も大きい。図2は2000年のC a l P X前日市場における電力価格の推移である。この場合のボラティリティも約1300%であり、株式等に比べて1〜2桁も大きい。

【0006】図3は1999年のC a l P X前日市場における電力価格において、1日の価格を平均した値を図示したものである。この場合のボラティリティは約500%である。図4は2000年のC a l P X前日市場における電力価格において、1日の価格を平均した値を図示したものである。この場合のボラティリティも約500%である。いずれの場合も株式等に比べて1桁程度大きい。

【0007】以上に見たように電力の市場価格では、時間単位の価格の変動においても、1日平均の価格（以下ではこれを日平均価格と呼ぶ）の変動においても、株式に比べて1桁以上ボラティリティが大きい。ボラティリティが大きな原資産を金融工学の従来手法で取り扱った場合、以下に述べるような不都合が生じる。

【0008】ここでは一例として従来の金融工学で用いられてきたブラック・ショールズ（BS）の理論式を用いてボラティリティが大きい場合のオプション価格を評価してみる。ヨーロッパ型の（期間中の途中行使がない）コール・オプションに関するBS価格式は以下のよう表される。

【0009】

【数2】

$$c = SN(d_1) - Ke^{-r\tau} N(d_2)$$

$$d_1 = \left\{ \ln \frac{S}{K} + \left( r + \frac{\sigma^2}{2} \right) \tau \right\} / (\sigma \sqrt{\tau})$$

$$d_2 = \left\{ \ln \frac{S}{K} + \left( r - \frac{\sigma^2}{2} \right) \tau \right\} / (\sigma \sqrt{\tau}) = d_1 - \sigma \sqrt{\tau}$$

ここで、 $c$ はオプション価格（権利料＝プレミアム）、 $S$ は現在の株価（電力価格）、 $K$ は行使価格（コール・オプションの場合は $K$ 円で買う権利、プット・オプションでは $K$ 円で売る権利）、 $r$ は非危険利子率（以下では0と仮定）、 $\sigma$ はボラティリティ、 $\tau$ は満期までの期間（年単位）、 $N(d)$ は標準正規分布の累積確率密度関数である。BS理論式そのものにはボラティリティの上

50

(5)

特開 2003-331128

8

7

限に対する制約はない。

【0010】また、プット・オプション価格は、次の式で表される。

【0011】

【数3】

$$p = Ke^{-rt}N(-d_2) - SN(-d_1)$$

図5は種々のボラティリティに対して計算したヨーロピアン・コール・オプションの価格 $c$ と行使価格の関係である。図では縦軸、横軸ともに原資産価格 $S$ で規格化してある。これは非危険利子率が0で、期間が0.25年(3ヶ月)の場合の計算結果である。図からボラティリティが大きくなるにしたがって規格化したオプション価格 $c/S$ は行使価格 $K$ によらず1に近づくことがわかる。ボラティリティが300%においては $K/S=1$ で $c/S$ は0.8程度になる。これは、原資産価格 $S=1000$ 円であり、将来の行使価格 $K=1000$ 円である場合、つまり、原資産価格を維持するためにはコール・オプション価格 $c$ として( $c=1000$ 円 $\times 0.8=800$ 円を支払わなければならないことを意味している。正確な値は期間 $t$ によって異なるが、このようなオプション価格は高すぎて市場で受け入れられるとは考えにくい。

【0012】さらにボラティリティが大きくなり1000%程度に達すると、オプション価格が原資産の価格にほぼ等しくなる。すなわち $S=1000$ 円の株式(あるいは電力)の価格変動リスクをヘッジするためのプレミアムに $C=1000$ 円かかることになり現実的ではない。

【0013】図8は種々のボラティリティに対して計算したヨーロピアン・プット・オプション価格 $p$ である。このプット・オプション価格にも図5に示したコール・オプション価格と同様な傾向があることがわかる。すなわち、ボラティリティが大きな場合のオプション価格は、

【数4】

$$c \sim S$$

$$p \sim K$$

と近似できることがわかる。

【0014】このことは、派生証券の価格計算において、数2式、数3式のBS理論式を用いると、ボラティリティが大きな場合にオプション価格が原資産の価格あるいは行使価格に近くなり、金融商品として実用的でなくなることを意味している。これは原資産の収益率分布を正規分布に限っているためである。一方、実際の株価の収益率分布は正規分布からずれていることが知られている。このため、オプション価格を計算するにあたり、原資産価格の収益率分布を正規分布に限る必要はない。実際の分布を考慮すると数2式、数3式は過大評価になる場合がある。また、電力等の現物市場ではさらにこの

傾向が大きくなる。

【0015】数2式、数3式からわかるように、オプション価格は残存期間 $t$ にも依存する。そこで、次にオプションの期間が長い場合に、従来技術において生じる不都合について説明する。図7は満期までの期間 $t$ (年単位)を変えて計算したヨーロピアン・コール・オプション価格であり、図8は同様に計算したヨーロピアン・プット・オプション価格を示している。ここで、ボラティリティは50%としている。前に述べたボラティリティが大きな場合の不都合ほどではないが、期間 $t$ が10年を超えるとオプション価格は原資産価格の5割を超えてしまい、金融商品として現実的ではなくなる。ただし、この値はボラティリティによって結果が異なることに注意を要する。すなわち、ボラティリティがさらに大きな場合には、さらに小さな期間で同様な不都合が生じることになる。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】以上のように、オプション価格の評価に従来のブラック・ショールズ(BS)価格式を用いた場合、ボラティリティが大きい場合や満期までの期間が長い場合には、オプション価格が極めて高くなり、金融商品としては適当でないという問題点があった。

【0017】さらに仮に高いオプション価格が容認されたとしても、このような場合に、オプションを販売した金融機関等が自らのリスクをヘッジするためにオプション価格の変化に応じて原資産を売り買いしてリスクの無いポートフォリオを構成しリスク・ヘッジを行う(つまり、ダイナミック・ヘッジをする)に誤差が大きくなって不都合が生じるという問題点があった。

【0018】そのため、従来は、このような場合には経験的な方法で価格付けしたり、市場データから逆算して価格付けすることにより対応していた。

【0019】しかし、市場データが十分でない場合もあり、必ずしも常に価格付けが可能になるわけではない。また、複製可能性の保証もなく、リスク・ヘッジの観点からも将来の収益の観点からも不確実性がある。したがって大きな損害を受ける可能性があった。また、特に電力等の商品資産においては規則的な変動成分があるため派生証券の価格計算の過程で統計的な取り扱いが困難な場合があった。

【0020】本発明は、このような従来の技術的課題に鑑みてなされたもので、満期までの期間が長い場合や時間的変動が大きい場合にも適正な価格付けが可能であり、リスク・ヘッジを容易にすることにより大きな損害を防ぐことができる派生証券及びその価格の評価技術を提供することを目的とする。

【0021】本発明はまた、原資産の価格変動に規則的な変動がある場合に規則変動成分を除去した残差に統計的な処理を施することによって派生証券価格を評価する

10

20

30

40

50

(6)

特開2003-331128

10

ことができる派生証券及びその価格の評価技術を提供することを目的とする。

【0022】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明の派生証券の評価システムは、過去の所定期間の商品の価格及び需要量若しくは供給量、又は過去の所定期間の株式の価格及び出来高の入力データを受け入れる手段と、派生証券の満期までの期間、原資産の現在価格及び行使価格、非危険利子率の入力データを受け入れる手段と、任意のモンテカルロ法の計算時間間隔及び総ヒストリー数を用い、モンテカルロ法により金融ボルツマン方程式を解き、前記商品の価格の確率分布を得る手段と、得られた確率分布から派生証券の価格を計算する手段と、前記派生証券の価格の計算結果を出力する手段とを備えたものである。

【0023】請求項2の発明の派生証券の評価システムは、過去の所定期間の商品の価格及び需要量若しくは供給量、又は過去の所定期間の株式の価格及び出来高の入力データを受け入れる手段と、受け入れたデータから商品の需要量若しくは供給量と価格との変動の相関、又は株式の出来高と価格との変動の相関を計算して出力する手段と、派生証券の満期までの期間、原資産の現在価格及び行使価格、非危険利子率の入力データを受け入れる手段と、任意のモンテカルロ法の計算時間間隔及び総ヒストリー数を用い、モンテカルロ法により金融ボルツマン方程式を解き、前記商品の価格の確率分布を得る手段と、得られた確率分布から派生証券の価格を計算する手段と、前記派生証券の価格の計算結果を出力する手段とを備えたものである。

【0024】請求項3の発明の派生証券の評価システムは、過去の所定期間の商品の価格及び需要量若しくは供給量、又は過去の所定期間の株式の価格及び出来高の入力データを受け入れる手段と、受け入れたデータから商品の需要量若しくは供給量と価格との規則的な変動、又は株式の出来高と価格との規則的な変動の有無を判定し、規則的な変動部分を除去する手段と、派生証券の満期までの期間、原資産の現在価格及び行使価格、非危険利子率の入力データを受け入れる手段と、任意のモンテカルロ法の計算時間間隔及び総ヒストリー数を用い、モンテカルロ法により金融ボルツマン方程式を解き、前記商品の価格の確率分布を得る手段と、得られた確率分布から派生証券の価格を計算する手段と、得られた派生証券の価格に対して、除去した規則的な変動部分を再補正する手段と、補正後の派生証券の価格を出力する手段とを備えたものである。

【0025】請求項4の発明の派生証券の価格評価方法は、評価対象である商品の過去の所定期間の価格及び需

要量若しくは供給量、又は評価対象である株式の過去の所定期間の価格及び出来高の入力データを受け入れるステップと、派生証券の満期までの期間、原資産の現在価格及び行使価格、非危険利子率の入力データを受け入れるステップと、任意のモンテカルロ法の計算時間間隔及び総ヒストリー数のデータを受け入れるステップと、前記計算時間間隔と総ヒストリー数を用い、モンテカルロ法により金融ボルツマン方程式を解き、前記商品の価格の確率分布を得るステップと、得られた確率分布から派生証券の価格を計算するステップと、前記派生証券の価格の計算結果を出力するステップとを有することを特徴とするものである。

【0026】請求項5の発明の派生証券の価格評価方法は、評価対象である商品の過去の所定期間の価格及び需要量若しくは供給量、又は評価対象である株式の過去の所定期間の価格及び出来高の入力データを受け入れるステップと、受け入れたデータから商品の需要量若しくは供給量と価格との変動の相関、又は株式の出来高と価格との変動の相関を求めるステップと、派生証券の満期までの期間、原資産の現在価格及び行使価格、非危険利子率の入力データを受け入れるステップと、任意のモンテカルロ法の計算時間間隔及び総ヒストリー数のデータを受け入れるステップと、前記計算時間間隔と総ヒストリー数を用い、モンテカルロ法により金融ボルツマン方程式を解き、前記商品の価格の確率分布を得るステップと、得られた確率分布から派生証券の価格を計算するステップと、前記派生証券の価格の計算結果を出力するステップとを有することを特徴とするものである。

【0027】請求項6の発明の派生証券の価格評価方法は、評価対象である商品の過去の所定期間の価格及び需要量若しくは供給量、又は評価対象である株式の過去の所定期間の価格及び出来高の入力データを受け入れるステップと、受け入れたデータから商品の需要量若しくは供給量と価格との規則的な変動、又は株式の出来高と価格との規則的な変動の有無を判定し、規則的な変動部分を除去するステップと、派生証券の満期までの期間、原資産の現在価格及び行使価格、非危険利子率の入力データを受け入れるステップと、任意のモンテカルロ法の計算時間間隔及び総ヒストリー数の入力データを受け入れるステップと、前記計算時間間隔と総ヒストリー数を用い、モンテカルロ法により金融ボルツマン方程式を解き、前記商品の価格の確率分布を得るステップと、得られた確率分布から派生証券の価格を計算するステップと、得られた派生証券の価格に対して、除去した規則的な変動部分を再補正するステップと、補正後の派生証券の価格を出力するステップとを有することを特徴とするものである。

【0028】請求項7の発明は、請求項4～6の派生証券の価格評価方法において、評価対象である商品を電力とし、その派生証券の価格を計算することを特徴とする

30

40

50



11

ものである。

【0029】請求項8の発明は、請求項4～6の派生証券の価格評価方法において、価格のヒストリカル・ボラティリティが100%を超える商品又は株式を原資産とし、その派生証券の価格を計算することを特徴とするものである。

【0030】請求項9の発明は、請求項4～6の派生証券の価格評価方法において、前記モンテカルロ法の計算時間間隔を1日以下とすることを特徴とするものである。

【0031】請求項10の発明は、請求項4～6の価格評価方法において、電力価格の1日平均値、1週間の平均値若しくは1月間の平均値を原資産として派生証券の価格を計算することを特徴とするものである。

【0032】請求項11の発明は、請求項4～6の派生証券の価格評価方法において、電力価格のある日の特定の時刻の値、その日の最大値若しくはその日の特定の時刻の価格の平均値をその日の電力価格とし、これを原資産として派生証券の価格を計算することを特徴とするものである。

【0033】請求項12の発明は、請求項4～6の派生証券の価格評価方法において、特定の曜日の特定の時刻の価格若しくは特定の曜日の価格の平均値を原資産として派生証券の価格を計算することを特徴とするものである。

【0034】請求項13の発明の派生証券の評価システムは、過去の所定期間の商品の価格及び需要量若しくは供給量、又は過去の所定期間の株式の価格及び出来高の入力データを受け入れる手段と、受け入れたデータから商品の需要量若しくは供給量と価格との変動の相関、又は株式の出来高と価格との変動の相関を計算して出力する手段と、派生証券の満期までの期間、原資産の現在価格及び行使価格、非危険利子率の入力データを受け入れる手段と、計算時間間隔及び総ヒストリー数を入力データを受け入れる手段と、前記計算時間間隔と総ヒストリー数を用いて幾何ブラウン運動モデルの方程式を解き、前記商品の価格の確率分布を得る手段と、得られた確率分布から派生証券の価格を計算する手段と、前記派生証券の価格の計算結果を出力する手段とを備えたものである。

【0035】請求項14の発明の派生証券の評価システムは、過去の所定期間の商品の価格及び需要量若しくは供給量、又は過去の所定期間の株式の価格及び出来高の入力データを受け入れる手段と、受け入れたデータから商品の需要量若しくは供給量と価格との規則的な変動、又は株式の出来高と価格との規則的な変動の有無を判定し、規則的な変動部分を除去する手段と、派生証券の満期までの期間、原資産の現在価格及び行使価格、非危険利子率の入力データを受け入れる手段と、計算時間間隔及び総ヒストリー数を入力データを受け入れる手段と、

(7)

特開2003-331128

12

前記計算時間間隔と総ヒストリー数とを用いて幾何ブラウン運動モデルの方程式を解き、前記商品の価格の確率分布を得る手段と、得られた確率分布から派生証券の価格を計算する手段と、得られた派生証券の価格に対して、除去した規則的な変動部分を内補正する手段と、補正後の派生証券の価格を出力する手段とを備えたものである。

【0036】請求項15の発明の派生証券の価格評価方法は、過去の所定期間の商品の価格及び需要量若しくは供給量、又は過去の所定期間の株式の価格及び出来高の入力データを受け入れるステップと、受け入れたデータから商品の需要量若しくは供給量と価格との変動の相関、又は株式の出来高と価格との変動の相関を計算して出力するステップと、派生証券の満期までの期間、原資産の現在価格及び行使価格、非危険利子率の入力データを受け入れるステップと、計算時間間隔及び総ヒストリー数を入力データを受け入れるステップと、前記計算時間間隔と総ヒストリー数とを用いて幾何ブラウン運動モデルの方程式を解き、前記商品の価格の確率分布を得るステップと、得られた確率分布から派生証券の価格を計算するステップと、前記派生証券の価格の計算結果を出力するステップとを有することを特徴とするものである。

【0037】請求項16の発明の派生証券の価格評価方法は、過去の所定期間の商品の価格及び需要量若しくは供給量、又は過去の所定期間の株式の価格及び出来高の入力データを受け入れるステップと、受け入れたデータから商品の需要量若しくは供給量と価格との規則的な変動、又は株式の出来高と価格との規則的な変動の有無を判定し、規則的な変動部分を除去するステップと、派生証券の満期までの期間、原資産の現在価格及び行使価格、非危険利子率の入力データを受け入れるステップと、計算時間間隔及び総ヒストリー数を入力データを受け入れるステップと、前記計算時間間隔と総ヒストリー数とを用いて幾何ブラウン運動モデルの方程式を解き、前記商品の価格の確率分布を得るステップと、得られた確率分布から派生証券の価格を計算するステップと、得られた派生証券の価格に対して、除去した規則的な変動部分を再補正するステップと、補正後の派生証券の価格を出力するステップとを有することを特徴とするものである。

【0038】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図に基づいて詳説する。なお、本発明のシステムは、スタンドアローンのコンピュータシステムあるいはネットワークで接続された複数のコンピュータシステムにより構成されるものであり、下記の諸機能は当該システムにソフトウェアプログラムをインストールすることによって実現されるものであるが、ここでは説明の便宜上、機能毎に分けて説明する。

50

(8)

特開2003-331128

13

【0039】図9、図10は本発明の1つの実施の形態の派生商品価格の評価システムの構成を示している。図9に示すように、本実施の形態のシステムは、マーケットデータベース101から必要なデータ、例えば、所定商品や株式の価格、需要や出来高のデータを読み込む前処理部103、評価すべきオプションの種類と、またそのオプション価格の計算に必要な満期までの期間、現在価格、行使価格、非危険利子率等のデータ104、初期データ105、総ヒストリー数106、計算時間間隔107を入力し、前処理後の市場データに対してモンテカルロ法による金融ボルツマン方程式を計算して目的とする派生証券の確率密度関数を求め、さらにそれからオプション価格を計算するボルツマン計算エンジン108、このボルツマン計算エンジン108の計算結果等を図10に示す態様でディスプレイにグラフィック表示し、またプリントアウトする出力部109から構成されている。なお、上記のボルツマン計算エンジン108は、本願発明者らにより発明されたもので、原論文「Yuji Uenohara and Katsuo Yoshioka, "Boltzmann Model in Financial Technology" Proc. of 5th International Conference of JAFEE, August 28, 1999, Japan, pp.18-37」、また特開2002-32564号公報「ディーリングシステム及び記録媒体」に記載されたものである。また、ボルツマン計算エンジン108に設定する初期データ105には、温度パラメータ $T_0$ 、 $c_0$ 、 $g_0$ 、初期の粒子分布が含まれる。

【0040】出力部109の表示例は、図10に示してある。201は現在選択されている市場名を表示する部分で、現在開かれている市場の中から市場を選択するボタンを兼ねている。ここで派生証券を売買したい市場を選択する。202～205は市場データの時間変化を表示する部分で、上部のボタンによってデータの種別を選択する。典型的には、価格データ、需要データ、取引量データ、売買結果のポジション（現在の収支決算）などが表示される。206は金利、為替相場、電力価格の気配値、前日との変化等の重要な市場データを表示する部分である。

【0041】207は派生証券の売買に直接に関係する重要なパラメータを入力する部分である。オプションの種類は、上に述べたヨーロピアン・コール・オプション、ヨーロピアン・プット・オプションだけでなく、価格の平均値を原資産とするアジア・オプションやオプションの発生時点を規定するバリアー・オプション他、多種類のオプションに対応する。

【0042】209は金融ボルツマン計算モデルに関する部分で、各種の初期値の設定や計算時間間隔、ヒストリー数などを入力する部分と、ボルツマン・モデルによる収益率分布の図（実線）と従来モデルによる分布（正規分布）が比較できるようにグラフも表示される。なお、ボルツマン・モデルに関するパラメータは推奨値が

14

自動的に表示され、利用者は通常は推奨値を用いればよく、変更が必要な場合のみに入力を行う。

【0043】次に、上記実施の形態の派生証券価格の評価システムの動作を、図11、図12のフローチャートを用いて説明する。本実施の形態のシステムでは、派生証券の価格を評価するにあたり、前処理部103でマーケットデータベース101から過去の価格データ及び出来高（あるいは需要量あるいは供給量）データを読み込む（ステップS1）。また、派生証券の期間 $\tau$ を設定し（ステップS2）、現在価格 $S$ 、行使価格 $K$ 、非危険利子率 $r$ を設定する（ステップS3）。

【0044】そして、これらの入力値、設定値を用いて、年率のボラティリティを評価するために、ヒストリカル・ボラティリティ $\sigma$ を分析する（ステップS4）。また、ボルツマン計算エンジン108によるモンテカルロ計算の実行に必要な試行回数（総ヒストリー数） $N$ 及び計算時間間隔 $\Delta t$ を設定する（ステップS5）。

【0045】次に、ボルツマン計算エンジン108において、モンテカルロ法を用いてボルツマン方程式を計算する（ステップS6）。このボルツマン計算エンジン108では、年率のボラティリティが極めて大きかったり、満期までの期間が長い場合にはモンテカルロ計算における時間間隔を原資産価格が与えられている時間間隔より短く設定する。ボルツマン計算エンジン108による演算は図12のフローチャートに示すものであり、後述する。

【0046】続いて、得られた確率密度分布からオプション価格を計算し、評価する（ステップS7）。この評価の結果は、出力部109によりディスプレイに図10に示す態様で表示し、またオペレータの指示によってプリントアウトされる（ステップS8）。

【0047】図12のフローチャートを用いて、図11のフローチャートにおけるステップS6のモンテカルロ計算により価格の時間変化を評価する手順を説明する。まず、金融ボルツマン方程式で用いられる温度パラメータ $T_0$ 、 $c_0$ 、 $g_0$ を入力して設定する（ステップS11）。

【0048】次に、ヒストリー数 $I$ に関する演算ループ11と、時間 $t$ に関する演算ループ12を構成して反復計算を行い、時間 $t = \tau$ になり、ヒストリー数 $I = N$ になるまでモンテカルロ計算によりヒストリーを進行させる（ステップS12～S19）。この間、ヒストリー数 $I$ の反復を行うたびに、ステップS14で初期の粒子分布を与える。

【0049】図13は、本評価システムにおいて用いる時間間隔の例を示している。時間間隔は計算上は短い方がよいが、短いほど計算時間が長くなる。そのため必要な精度が得られる範囲で大きめに設定する。具体的には、時間間隔あたりの変動幅が、例えば、年率のボラティリティが50%程度の場合の1日あたりの変動幅に等

10

20

30

40

50

(9)

特開2003-331128

15

しくなるように設定する。この場合、時間間隔 $\Delta t$ を、  
【数5】

$$\Delta t = (1/250) \text{年} \times (\sigma_v / \sigma)^2$$

で与えられるように設定すればよい。ここで、 $\sigma_v = 50\%$ である。しかし、この $\sigma_v$ の値としては50%に限ることはなく、100%以下の任意の値を用いることができる。そこで、計算誤差が許容可能な値になる $\sigma_v$ を選ぶ。図13のグラフにおいて、曲線C10は時間間隔の選定のための目安を示している。

【0050】時間間隔 $\Delta t$ と総ヒストリー数 $N$ が決まれば、ボルツマン計算エンジン108により、次の数6式に示したボルツマン方程式をモンテカルロ法で解き、得られた確率密度関数 $P$ を用いて、オプション価格を計算して出力する。

【0051】

$$\frac{\partial P(S, v, \mu, t)}{\partial t} + S(v + \mu v) \frac{\partial P(S, v, \mu, t)}{\partial S} + \Lambda_T(S, v) P(S, v, \mu, t) - \int dv' d\mu' Sp(S, v, \mu, t) \Lambda_S(S, v', \mu' \rightarrow v, \mu) = S(S, v, \mu, t)$$

この式は線形なので解の一意性を保証する。ボルツマン方程式は位相空間 $(S, v, \mu, t)$ 中での価格の確率密度 $p(S, v, \mu, t)$ を記述する。この数7式を、金融工学でなじみのある形に書きかえろ。ここで、 $p(S, v, \mu, t)$ の $v$ と $\mu$ に関する積分は、金融工学における確率密度 $P$ である。すなわち、

【数8】

$$P(S, t) = \int dv d\mu p(S, v, \mu, t)$$

となる。同じ積分を数7式に施すと、上の数6式が導かれるのである。数6式において、無裁定性から初期条件は $t=0$ のとき $S=S_0$ となる。したがって、数6式の右辺の積分は、ディラックの $\delta$ 関数の積となる。

【0054】図14は、本実施の形態の派生証券の評価システムにより算定されたヨーロッパ・コール・オプション価格を従来の方法で算出したものとを対比して示したグラフである。横軸は原資産価格 $S$ で規格化した行使価格 $K$ 、縦軸は原資産価格 $S$ で規格化した派生証券（ヨーロッパ・コール・オプション）価格 $c$ である。そして、C1及びC2は本実施の形態によって計算された派生証券価格であり、C3及びC4は従来のブラック・ショールズ(BS)モデルによって計算された派生証券価格である。ボラティリティは50%に設定している。また、C1及びC3は、オプション満期までの期間が1/12年(1ヶ月)の結果であり、C2及びC4はオプション満期までの期間が2/12年(2ヶ月)の結果である。この図14のグラフから、アット・ザ・マネー( $K/S=1$ )におけるオプション価格を比較すると、本実施の形態によるオプション価格が従来の計算結果の半分程度になっていることがわかる。

【数6】

$$\frac{\partial P}{\partial t} + S\psi \frac{\partial P}{\partial S} + \int dv d\mu \left[ Sv\mu \frac{\partial P}{\partial S} + \Lambda_T P - \int dv' d\mu' Sp\Lambda_S \right] = \delta(S - S_0)\delta(t)$$

ここで、 $P$ は原資産 $S$ のリスク中立確率密度、 $t$ は時間、 $S$ はスポット価格、 $\psi$ は期待収益、 $v$ は収益率の絶対値、 $\mu$ は価格変化の方向、 $\Lambda_T$ は衝突強度であり、これは単位時間あたりの価格変動確率である。 $\Lambda_S$ は価格の記憶効果である。なお、この数6式は、次の数7式から次のようにして導き出されたものである。

【0052】金融ボルツマン方程式は、次の数7式で与えられる。

【0053】

【数7】

【0055】図15は、同様にヨーロッパ・アット・オプション価格の計算結果のグラフである。ここで、C5及びC6は本実施の形態の派生証券の評価システムによって計算された派生証券価格であり、C7及びC8は従来のブラック・ショールズ・モデルによって計算された派生証券価格である。この場合も、図14と同じく、ボラティリティを50%に設定している。また、C5及びC7はオプション満期までの期間が1/12年(1ヶ月)の結果であり、C6及びC8はオプション満期までの期間が2/12年(2ヶ月)の結果である。この場合も、オプション価格が従来の計算結果の半分程度になっていることがわかる。

【0056】これにより、第1の実施の形態の派生証券の評価システム及び評価方法によれば、満期までの期間が長い場合や時間的変動が大きい場合にも適正な価格付けが可能であり、リスク・ヘッジを容易にする。

【0057】次に、本発明の第2の実施の形態の電力価格の評価システムについて、図16、図17を用いて説明する。特に電力価格の場合には、株価と異なりその価格の推移に周期的な変動が含まれる場合がある。このような周期的な変動は不規則な変動と区別することは困難であるので、そのまま取り扱ってもかまわないが、必要に応じて規則的な変動を差し引くこともできる。また、価格がある程度まで需要量や気温等のデータから推定される場合には、この予測値を差し引いた差が不規則変動をしていると考えることもできる。

【0058】図16は第2の実施の形態の派生証券の評価システムの構成を示している。この評価システムは、図9に示した第1の実施の形態の評価システムに対し、前処理部103がより複雑な処理機能を備え、また

50

(10)

新開 2003・331128

17

この前処理部103に対してランダム性の基準値102を設定する機能を備えた点が異なる。また、図17に示すように出力部109の表示内容もより詳細なものとなっている。

【0059】すなわち、マーケットデータベース101から必要なデータ、例えば、所定商品や株式の価格、需要や出来高のデータを読み込み、ランダム性検定の基準値102を受け入れ、読み込んだデータからランダム性を検定し、規則変動の補正、平均化処理を実施する前処理部103、評価すべきオプションの種類と、またそのオプション価格の計算に必要な満期までの期間、現在価格、行使価格、非危険利子率等のデータ104、初期データ105、総ヒストリー数106、計算時間間隔107を入力し、前処理後の市場データに対してモンテカルロ法による金融ボルツマン方程式を計算して目的とする派生証券の確率密度関数を求め、さらにそれからオプション価格を計算するボルツマン計算エンジン108、このボルツマン計算エンジン108の計算結果を受け、規則変動を再補正し、図17に示す態様でディスプレイにグラフィック表示し、またプリントアウトする出力部109から構成されている。なお、モンテカルロ計算により価格の時間変化を評価するボルツマン計算エンジン108は、第1の実施の形態と同様の演算処理機能を有している。

【0060】出力部109の表示例は、図17に示してある。201は現在選択されている市場名を表示する部分で、現在開かれている市場の中から市場を選択するボタンを兼ねている。ここで派生証券を売買したい市場を選択する。202～205は市場データの時間変化を表示する部分で、上部のボタンによってデータの種類を選択する。典型的には、価格データ、需要データ、取引量データ、売買結果のポジション（現在の収支決算）などが表示される。206は金利、為替相場、電力価格の配値、前日との変化等の重要な市場データを表示する部分である。

【0061】207は派生証券の売買に直接に関係する重要なパラメータを入力する部分である。オプションの種類は、上に述べたヨーロピアン・コール・オプション、ヨーロピアン・プット・オプションだけでなく、価格の平均値を原資産とするアジア・オプションやオプションの発生時点を規定するバリアー・オプション他、多極種のオプションに対応する。

【0062】208は電力取引に特徴的な部分で、前処理を行うかどうか、行うとすればどのような手法を用いるか、また評価基準（ランダム性の限界値など）を入力する部分およびその結果を表示する部分である。

【0063】209は金融ボルツマン計算モデルに関する部分で、各種の初期値の設定や計算時間間隔、ヒストリー数などを入力する部分と、ボルツマン・モデルによる収益率分布の図（実線）と従来モデルによる分布（正

18

規分布）が比較できるようなグラフも表示される。なお、ボルツマン・モデルに関するパラメータは推奨値が自動的に表示され、利用者は通常は推奨値を用いればよく、変更が必要な場合にのみ入力を行う。

【0064】次に、第2の実施の形態の派生証券の評価システムの動作を図12、図18のフローチャートを用いて説明する。図18のフローチャートにおいて、派生証券の価格を評価するにあたり、過去の価格データ及び出来高（あるいは需要量あるいは供給量）データをマーケットデータベース101から読み込む（ステップS21）。

【0065】価格変動のランダム性を検定し（ステップS22）、また価格の規則的な変動の有無を検定し、必要であれば規則的な変動部分を除去する（ステップS23）。また、派生証券の期間 $\tau$ を設定し、現在価格 $S$ 、行使価格 $K$ 、非危険利子率 $r$ を設定する（ステップS24）。

【0066】続いて、年率のボラティリティ $\sigma$ を計算する（ステップS25）。また、ボルツマン計算エンジン108によるモンテカルロ計算の試行回数（総ヒストリー数） $N$ 及び計算時間間隔 $\Delta t$ を設定する（ステップS27）。

【0067】続いて、ボルツマン計算エンジン108により、モンテカルロ計算によってボルツマン方程式を解くことにより、価格の時間変化を求める（ステップS28）。このボルツマン計算エンジン108による計算は、第1の実施の形態と同様図12のフローチャートに示したものである。この計算結果に対しては、出力部109により、規則変動部分を再補正する（ステップS29）。つまり、前処理部103で規則変動分を差引いたが、その差引いた分だけかさ上げする補正を行うのである。

【0068】次に、得られた確率密度分布 $P$ からオプション価格を評価し、その結果を図17に示す態様でディスプレイに表示し、また必要に応じてプリントアウトする（ステップS30、S31）。

【0069】モンテカルロ計算により価格の時間変化を評価するボルツマン計算エンジン108の演算処理は、図12のフローチャートに示した第1の実施の形態のものと同様である。そして、年率のボラティリティが極めて大きかったり、満期までの期間が長い場合には、モンテカルロ計算における時間間隔を原資産価格が与えられている時間間隔より短く設定する。この操作は、計算時間間隔の設定107による。

【0070】ステップS22のランダム性の検定は前処理部103において実施するが、電力価格のように季節、1ヶ月、1週間、1日で規則的な変動が考えられる場合には、この部分が極めて重要になる。

【0071】一般に株式等において金融工学を適用するにあたっては、価格が幾何ブラウン運動をしていること

50

19

が前提とされている。これはランダム・ウォークの連続時間での極限として与えられる確率過程である。したがって、少なくとも離散時間で見たときに原資産の価格がランダム・ウォークしていることが前提になっている。これは将来の価格が現在までの情報から予測することができないということに等しい。株式の場合にはこのような仮定が広く受け入れられているが、電力価格の場合には価格と相関がある需要をある程度予測できるため、将来価格の予測可能性を完全に否定することはできない。もし、将来の電力価格が予測可能であれば、そもそも金融工学の対象でなくなる。しかし、需要が予測できても価格が予測できるとは限らない。また、実際の市場価格は設備その他の影響でかなりランダム・ウォークに近くなるとも考えられ、将来の電力価格が予測不可能であるという仮定が必ずしも成立しないわけではない。いずれにしても、この仮定がどの程度成立しているかは常にチェックしておく必要がある。この判断には、例えば連検定 (run test) を行えばよい。ただし、これは連検定に限るものではなく他の方法を用いてもよい。ここでは、一例として電力価格がランダム・ウォークをしているかどうかの判断を連検定を用いて行った場合を示す。

【0072】離散型の確率変数  $X_{i-1} = X_i + e_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) がランダム・ウォークであれば、少なくとも  $e_i$  が、(1) ランダムであり、(2) 一定の分散を持ち、(3) 定常過程であることが必要である。ここで、定常過程とは期待値  $E(e_i)$ 、分散  $\text{var}(e_i)$  が一定、共分散が時間間隔のみの関数である過程のことである。連の個数  $R$  の期待値と分散は、 $e_i > 0$  の数  $m$  と、 $e_i < 0$  の数  $n$  を用いて、

【数9】

$$E(R) = \frac{2mn}{m+n} + 1$$

$$\text{var}(R) = \frac{2mn(2mn - m - n)}{(m+n)^2(m+n-1)}$$

と表される。 $m, n$  が大きい場合には、

【数10】

$$Z = \frac{R - E(R)}{\sqrt{\text{var}(R)}} \sim N(0, 1)$$

で近似可能である。ここで、 $N(0, 1)$  は標準正規分布である。したがって、統計学の定理にしたがって、 $e_i$  がランダムであるという帰無仮説をたてると、棄却域は正規分布の両側5%を考慮して、

【数11】

$$|Z| > 1.96$$

となる。すなわち、過去の一定期間の市場データの2値を計算して、その値の絶対値  $|Z|$  が1.96以下であれば、その市場データはランダム・ウォークしているとみなすことができる。

(11)

特開2003-331128  
20

【0073】図19はCalifornia電力取引所(CalPX)の前日市場における電力価格に対してランダム性を検定した結果である。日平均データの2値は数11式を満たしているからランダムといえるが、時間データは数11式を満たしていないのでランダムとはいえない。したがって、日平均データに対して株式と同じような扱いをすることは十分に可能であるが、時間データに関しては何らかの前処理を必要とする。最も簡単な方法は、毎日の同じ時刻のデータを用いることである。

【0074】図20は同じくCalPXの電力価格に対して、ある特定の時刻の価格をその日の価格として、1年間のデータからランダム性を検定した結果である。少数の例外を除いてランダムであることがわかる。

【0075】以上の検定に加えて、F検定などを用いて分散が均一であることを示せば電力価格がランダム・ウォークをしていることが判定できる。このような検定をランダム性の判定に加えることもできるが、株式などとの対比から基本的には連検定等によるランダム性の検定をもって電力価格がランダム・ウォークをしているかどうかの判断に代えることができる。

【0076】こうして前処理部103により電力価格のランダム性を検定すれば、さらにランダム性なしと判定されたデータに対して、規則変動ありとして考慮対象から除去し、残ったデータに対して、ステップS24以降の処理を実行する。以上より、本実施の形態の派生証券の評価システムにおいて電力価格をランダムデータと考えてオプション価格等を評価するための基準が与えられる。

【0077】前処理部103が行う電力価格の規則性の除去には、さらに需要との関係を利用することもできる。図21は1999年のCalifornia電力取引所(CalPX)の前日市場における電力需要(Demand)と電力価格(Price)の関係を示している。この場合、電力需要と電力価格は1対1には対応しておらず、電力需要が与えられた場合にも、電力価格はある程度ちらばっている様子が見られる。しかしながら、全体的な傾向としては、電力需要が増加するにつれて電力価格が増加している。このような関係を考慮せずに派生証券価格を評価しても特段の不都合があるわけではないが、この関係を考慮すると原資産価格の実質的な変動幅を低下させることができる。この場合、ボラティリティが小さくなるためオプション価格はさらに低下し、他の方法で価格付けを行う金融機関に対して競争力が増すことになる。例えば、図21の場合には、1次関数を用いて最小二乗フィッティングを行うと、直線33で示したように、価格Sと需要Dの関係が

【数12】

$$S (\$/MWh) = -28.3 + 0.0026D (MW)$$

と表される。この場合の相関係数は、0.64である。

50 実際の計算では過去の一定の期間の価格と需要のデータ

21

に於いて数12式のような需要と価格の関係を求めて、過去の需要データからその関係を用いて計算された価格を市場価格のデータから差し引き、それを原資産としてボラティリティを計算すればよい。ただし、この場合には需要と価格の相関係数にも注意を要する。また、週末と平日、季節、時刻によってフィッティング式を変えることにより精度を増すこともできる。

【0078】図22は2000年のCalPXの電力需要と電力価格の関係を示している。この場合には1999年の場合ほど、電力需要と電力価格の対応が明らかではない。これを機械的に最小二乗フィッティングを行うと、直線34に示したように、価格Sと需要Dの関係が

【数13】 
$$S(\$ / MWh) = -516 + 0.0076 D (MW)$$

と表される。この場合の相関係数は、0.18である。この場合には需要と価格の関係式を使うことはそれほど重要ではない。したがって、このような相関係数が得られた場合には価格は需要と相関がないとみなして派生証券価格を評価することができる。相関の有無には、例えば相関係数の絶対値として0.2という値を使う。

【0079】これにより、第2の実施の形態の派生証券の評価システムでは、電力価格の派生証券価格を効果的に評価できる。

【0080】次に、本発明の第3の実施の形態の派生証券の評価システムについて、図23を用いて説明する。マーケットデータベース101からマーケットデータを読み込んで前処理を実行する前処理部303、演算処理結果を出力する出力部309は、図16に示した第2の実施の形態のボルツマン計算エンジン108を用いた場合と同様である。幾何ブラウン運動による演算部分（幾何ブラウン運動モデル）308に関して、以下に詳しく説明する。

【0081】幾何ブラウン運動は従来の金融工学において株式等の価格変動を記述するために通常用いられているモデルである。金融工学では一般に、株価の微小変化dSを数14式のように記述する。

【0082】

【数14】

$$\frac{dS}{S} = \mu dt + \sigma dz$$

ここで、Sは株価、μはドリフト率（トレンド項）、tは時間、σはボラティリティ、zはウィーナー過程に従う変数である。ウィーナー過程とはマルコフ確率過程の一つであり、物理の世界ではブラウン運動といわれる微粒子の運動を表すのに用いられる。dzは微小時間dt中のzの変位であり、

【数15】

$$dz = \varepsilon \sqrt{dt}$$

なる関係がある。ここで、εは標準正規分布（平均0、標準偏差1）からの無作為抽出である。ただし、異なる

(12)

特開2003-331128

22

微小時間dtに関してdzは独立である。数14式のようにドリフト項を含み、dzの係数が1でないウィーナー過程（ブラウン運動）は、一般化されたウィーナー過程（伊藤過程）と呼ばれる。また、数14式は株価の対数ブラウン運動をすることを意味し、このような確率過程を幾何ブラウン運動という。すなわち、数14式は株価の対数の変動をトレンド項と正規分布する変動項の和として近似するわけである。これは投資家が価格の絶対値ではなく、収益率に関心があることを反映している。通常の株式ではこのトレンド項は非危険利子率に相当するが、電力価格においては一日、一週間あるいは一月、一年周期の変動になる。

【0083】株式の場合は、非危険利子率に相当するドリフト項以外の要素は完全にランダムであると仮定される。しかしながら、電力価格のように価格の高低に周期性がある商品の場合には、場合によっては、この周期的な変動部分を差し引かなくては不規則変動の大きさを正しく推定することはできない。この周期的な変動部分に関して完全に既知であるわけではない。そこで、例えば周期が1日あるいは1週間の三角関数等を用いて近似することになる。こうすることによって、実際の周期変動が完全に三角関数でなくても変動の大きさをかなり低減できる。あるいは周期変動の形として直前の1日あるいは1週間の価格変動の波形を用いることもできる。どちらが変動を小さくできるかは直前の数カ月あるいは考えている派生証券と同じ期間の過去の価格変動に対してテストしてみて、補正したあとの価格変動に対するボラティリティが小さい方を選ぶことができる。

【0084】なお、このような補正は必ず実施しなければならないというのではなく、ランダム性の検定結果により十分にランダムであると判断された場合には実施されないこともあり得るし、またシステム運用者の判断であって補正をしないこともありうる。このような判断は本システムを運用する者（ディーラー、トレーダー）の裁量である。

【0085】さらに、ランダム性の検定機能を持たず、単純に規則変動性だけを補正する機能を備えたシステムを構築することも可能である。

【0086】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、特に電力価格の派生証券価格を効果的に評価できる。また、電力に限らず、期間の長い派生証券など、オプション価格が高くなる場合に用いることで効果的にオプション価格を評価できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】西暦1999年のCalifornia電力取引所（CalPX）の前日市場における電力価格の推移を示すグラフ。

【図2】西暦2000年のCalPX前日市場における電力価格の推移を示すグラフ。

10

20

30

40

50

(13)

特開2003-331128

23

【図3】西暦1999年のCalPX前日市場における電力価格において、1日の価格を平均した値の推移を示すグラフ。

【図4】西暦2000年のCalPX前日市場における電力価格において、1日の価格を平均した値の推移を示すグラフ。

【図5】種々のボラティリティに対して計算したヨーロッパ・コール・オプションの価格と行使価格の関係を示すグラフ。

【図6】種々のボラティリティに対して計算したヨーロッパ・プット・オプション価格と行使価格の関係を示すグラフ。

【図7】満期までの期間 $\tau$ を変えて計算したヨーロッパ・コール・オプション価格のグラフ。

【図8】満期までの期間 $\tau$ を変えて計算したヨーロッパ・プット・オプション価格のグラフ。

【図9】本発明の第1の実施の形態の評価システムの機能ブロック図。

【図10】上記第1の実施の形態の評価システムにおける出力部の表示例の説明図。

【図11】上記第1の実施の形態の評価システムの計算手法のフローチャート。

【図12】上記第1の実施の形態の評価システムにおけるボルツマン計算エンジンのモンテカルロ法による計算手法のフローチャート。

【図13】年率のボラティリティとモンテカルロ計算の時間間隔を示すグラフ。

【図14】本発明によって計算された派生証券（ヨーロッパ・コール・オプション）の価格及び従来技術であるブラック・ショールズ・モデルによって計算された派生証券価格のグラフ。

【図15】本発明によって計算された派生証券（ヨーロッパ・プット・オプション）の価格及び従来技術であるブラック・ショールズ・モデルによって計算された派生証券価格のグラフ。

【図16】本発明の第2の実施の形態の評価システムの機能ブロック図。

【図17】上記第2の実施の形態の評価システムにおける出力部の表示例の説明図。

【図18】上記第2の実施の形態の評価システムの計算手法のフローチャート。

【図19】California電力取引所（CalPX）の前日市場における電力価格（日平均データ及び時間データ）に対してランダム性を検定した結果のグラム。

【図20】California電力取引所（CalPX）の前日市場における電力価格（特定の時刻のデータ）に対してランダム性を検定した結果のグラム。

【図21】1999年のCalifornia電力取引所（CalPX）の前日市場における電力需要と電力価

格の関係を示すグラフ。

【図22】2000年のCalifornia電力取引所（CalPX）の前日市場における電力需要と電力価格の関係を示すグラフ。

【図23】本発明の第3の実施の形態の評価システムの機能ブロック図。

【符号の説明】

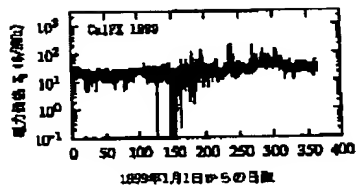
- 1 本発明によるボラティリティが500%で満期が1ヵ月のヨーロッパ・コール・オプションの評価値の例
- 2 本発明によるボラティリティが500%で満期が2ヵ月のヨーロッパ・コール・オプションの評価値の例
- 3 ブラック・ショールズ・モデルによるボラティリティが500%で、満期が1ヵ月のヨーロッパ・コール・オプションの評価値の例
- 4 ブラック・ショールズ・モデルによるボラティリティが500%で、満期が2ヵ月のヨーロッパ・コール・オプションの評価値の例
- 5 本発明によるボラティリティが500%で満期が1ヵ月のヨーロッパ・プット・オプションの評価値の例
- 6 本発明によるボラティリティが500%で満期が2ヵ月のヨーロッパ・プット・オプションの評価値の例
- 7 ブラック・ショールズ・モデルによるボラティリティが500%で満期が1ヵ月のヨーロッパ・プット・オプションの評価値の例
- 8 ブラック・ショールズ・モデルによるボラティリティが500%で満期が2ヵ月のヨーロッパ・プット・オプションの評価値の例
- 33 需要と価格の関係を1次関数で最小二乗フィッティングした結果
- 34 需要と価格の関係を1次関数で最小二乗フィッティングした結果
- 101 マーケットデータベース
- 102 ランダム性の基準値設定部
- 103 前処理部
- 104 オプションの種類設定部
- 105 初期データ設定部
- 106 ヒストリー数設定部
- 107 計算時間間隔設定部
- 108 ボルツマン計算エンジン
- 109 出力部
- 301 マーケットデータベース
- 302 ランダム性の基準値設定部
- 303 前処理部
- 304 オプションの種類設定部
- 305 初期データ設定部
- 306 ヒストリー数設定部
- 307 計算時間間隔設定部
- 308 幾何ブラウン運動モデル
- 309 出力部

24

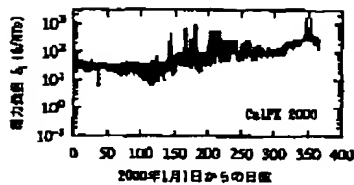
(14)

特開2003-331128

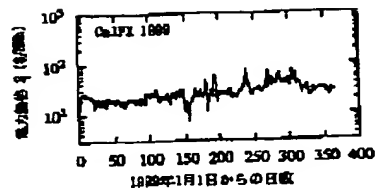
【図1】



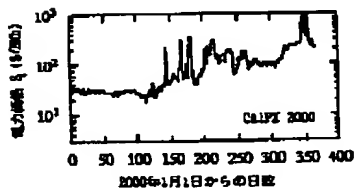
【図2】



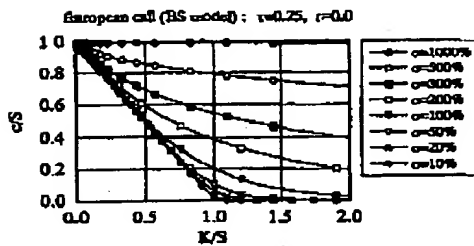
【図3】



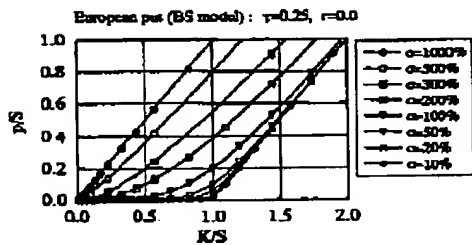
【図4】



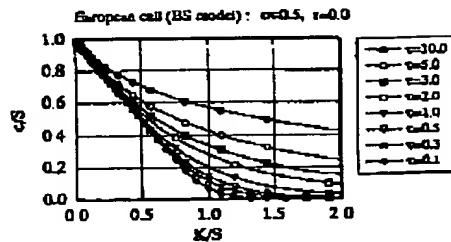
【図5】



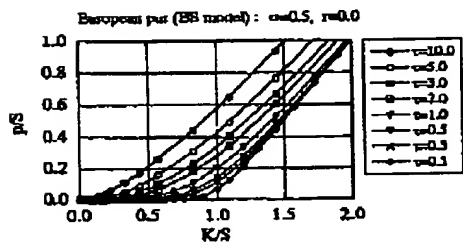
【図6】



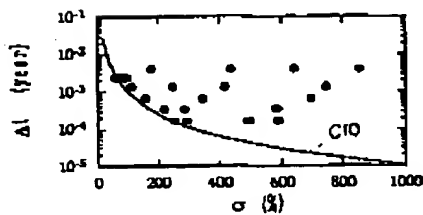
【図7】



【図8】



【図13】

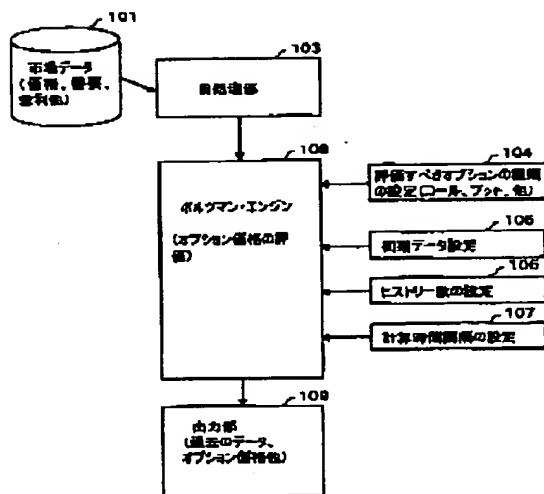




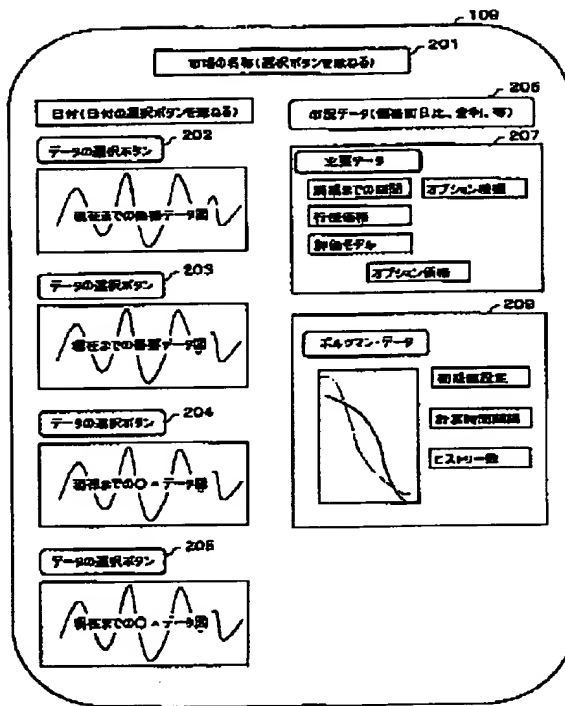
(15)

特開2003-331128

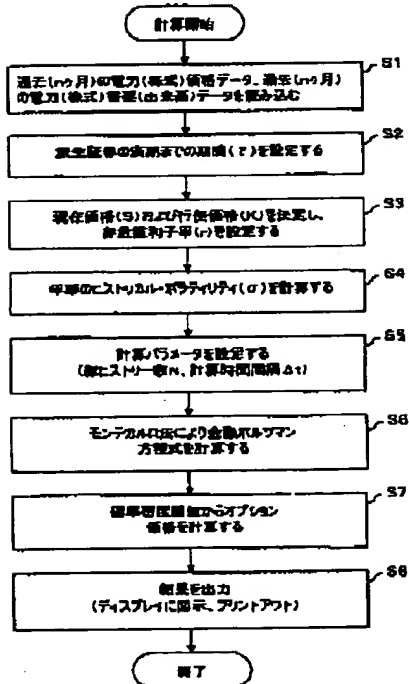
【図9】



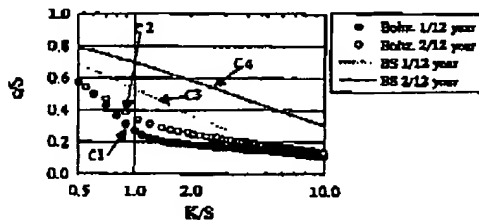
【図10】



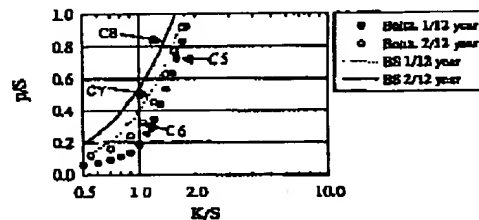
【図11】



【図14】



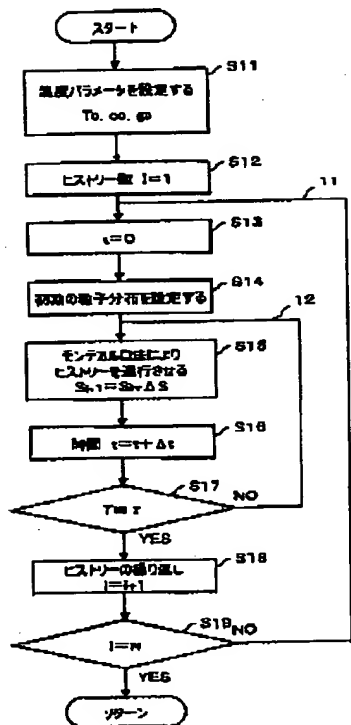
【図15】



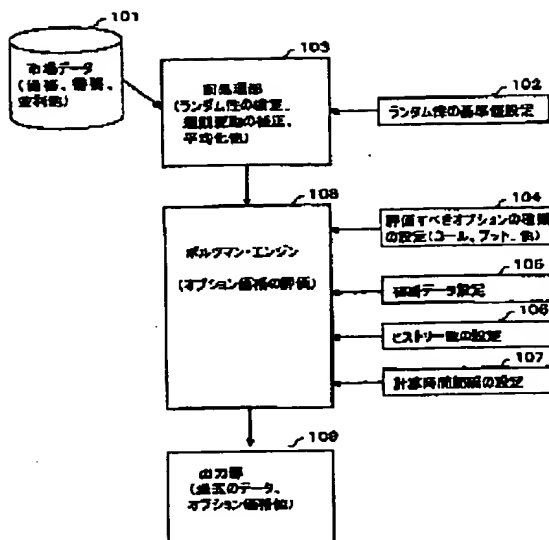
(16)

特開2003-331128

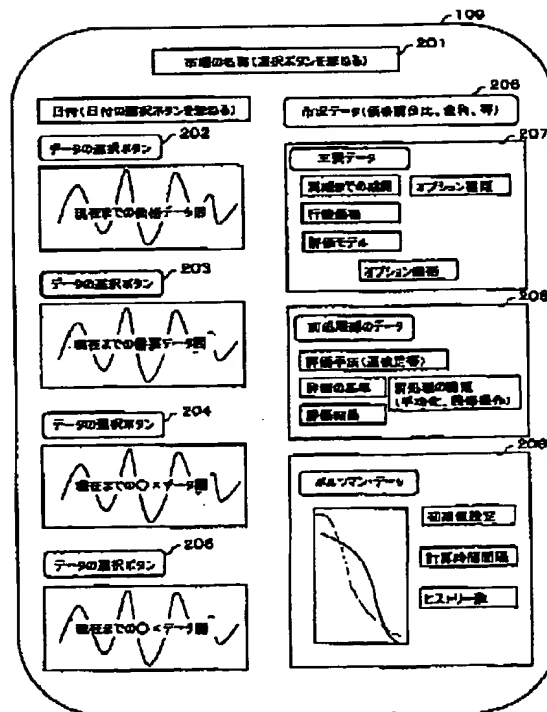
【図12】



【図16】



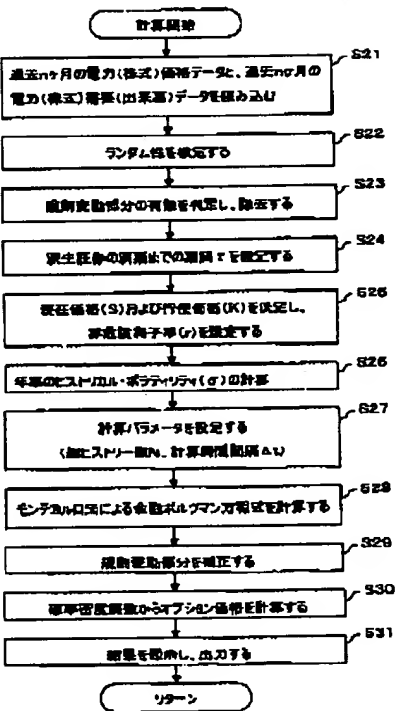
【図17】



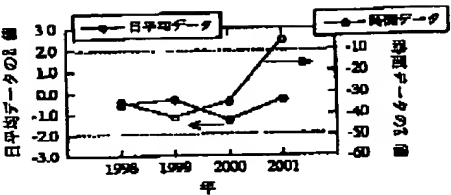
(17)

特開2003-331128

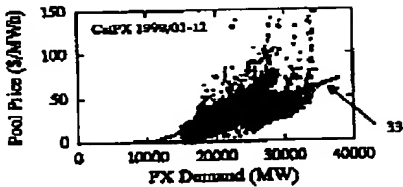
【図18】



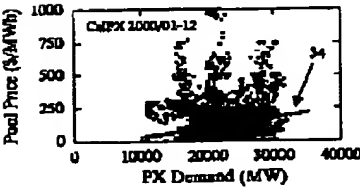
【図19】



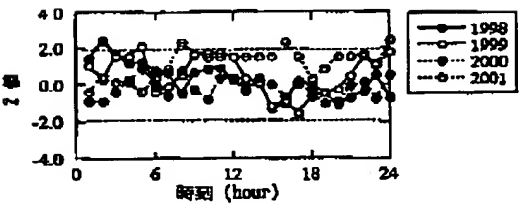
【図21】



【図22】



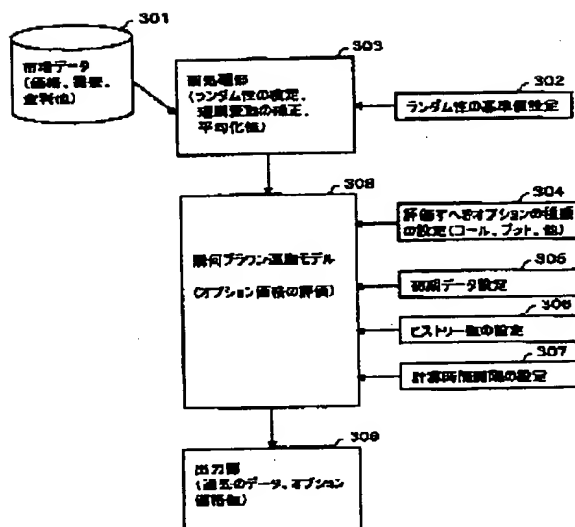
【図20】



(18)

特開2003-331128

【図23】



フロントページの続き

(72) 発明者 植之原 雄二  
 神奈川県川崎市川崎区浮島町2番1号 株  
 式会社東芝浜川崎工場内  
 (72) 発明者 立見 高浩  
 東京都港区芝1丁目5番11号 東芝ロジス  
 ティクス・ソリューションズ株式会社内

(72) 発明者 小林 武則  
 東京都府中市東芝町1番地 株式会社東芝  
 府中事業所内  
 (72) 発明者 平井 康夫  
 東京都港区芝一丁目1番1号 株式会社  
 東芝本社事務所内  
 Fターム(参考) 5B056 BB03 BB36 BB42 BB64